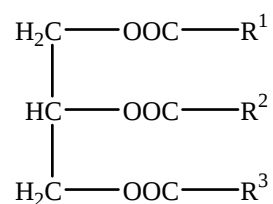


การตรวจเอกสาร

ไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันเป็นสารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (Ma and Hanna, 1999) โมเลกุลของไขมันประกอบด้วยกรีเซอร์ลิน 1 โมเลกุลและกรดไขมัน 3 โมเลกุล ซึ่งอาจจะเป็นกรดไขมันชนิดเดียวกันหรือต่างกัน ไขมันมีหลายชนิดแล้วแต่ชนิดของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2549) โดยทั่วไปในน้ำมันพืชจะประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) เป็นส่วนใหญ่

ไตรกลีเซอไรด์เป็นสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดไขมันกับกลีเซอรอล (Agarwal, 2006) ในภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์



ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์

ที่มา: Agarwal (2006)

จากภาพที่ 1 R^1 R^2 และ R^3 คือ สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมัน ดังนั้นชนิดของกรดไขมันจึงขึ้นอยู่กับสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบ ในตารางที่ 1 คือชนิดของกรดไขมันซึ่งพบในน้ำมันพืชส่วนใหญ่ พร้อมทั้งแสดงจุดหลอมเหลว (Melting Point) และจุดเดือด (Boiling Point) ของกรดไขมันแต่ละชนิด ตั้งแต่กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 8 อะตอมจนถึงจำนวนคาร์บอน 22 อะตอม ซึ่งจุดหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนคาร์บอนในกรณีที่เป็นกรดไขมันอิ่มตัว และกรณีที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว จุดหลอมเหลวจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน (Agarwal, 2006)

ตารางที่ 1 สูตรโครงสร้าง จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ

Fatty acid	No. of Carbons and double bonds	Chemical structure	Melting point deg C	Boiling point dec C
Caprylic	C8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	16.5	239
Capric	C10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	31.3	269
Lauric	C12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	43.6	304
Myristic	C14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	58	332
Palmitic	C16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	62.9	349
Palmitoleic	C16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	33	*
Stearic	C18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69.9	371
Oleic	C18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	16.3	*
Linoleic	C18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	- 5	*
Linolenic	C18:3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	- 11	*
Arachidic	C20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	75.2	*
Eicoseno	C20:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	23	*
Behenic	C22:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	80	*
Eurcic	C22:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	34	*

หมายเหตุ *ไม่มีข้อมูล

ที่มา: Waste Management and Research Center (2006)

ในน้ำมันพืชส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิด ดังนั้นคุณสมบัติของน้ำมันชนิดหนึ่งๆ จึงขึ้นอยู่กับกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ (Waste Management and Research Center, 2006) ในตารางที่ 2 แสดงชนิดกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

ตารางที่ 2 ชนิดกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

Vegetable oil	Fatty acid composition % by weight									
	14:0	16:0	18:0	20:0	22:0	24:0	18:1	22:1	18:2	18:3
Corn ^a	-	11.67	1.85	0.24	0.00	0.00	25.16	0.00	60.60	0.48
Cottonseed ^a	-	28.33	0.89	0.00	0.00	0.00	13.27	0.00	57.51	0.00
Crambe ^a	-	2.07	0.70	2.09	0.80	1.12	18.86	58.51	9.00	6.85
Peanut ^a	-	11.38	2.39	1.32	2.52	1.23	48.28	0.00	31.95	0.93
Rapeseed ^a	-	3.49	0.85	0.00	0.00	0.00	64.40	0.00	22.30	8.23
Soybean ^a	-	11.75	3.15	0.00	0.00	0.00	23.26	0.00	55.53	6.31
Sunflower ^a	-	6.08	3.26	0.00	0.00	0.00	16.93	0.00	73.73	0.00
Safflower ^b	0	9	2	0	0	0	12	0	78	0
H.O.Safflower ^b	Tr	5	2	Tr	0	0	79	0	13	0
Sesame ^b	0	13	4	0	0	0	53	0	30	0
Rice – bran ^b	0.4 -	11.7 -	1.7 -	0.4 -	-	0.4 -	39.2 -	-	26.4 -	-
	0.6	16.5	2.5	0.6		0.9	43.7		35.1	
Sal ^b	-	4.5 -	34.2 -	6.3 -	-	-	34.2 -	-	2.7	-
		8.6	44.8	12.2			44.8			
Mahua ^b	-	16.0 -	20.0 -	0.0 -	-	-	41.0 -	-	8.9 -	-
		28.2	25.1	3.3			51.0		13.7	
Neen ^b	0.2 -	13.6 -	14.4 -	0.8 -	-	-	49.1 -	-	2.3 -	-
	0.26	16.2	24.1	3.4			61.9		15.8	
Karanja ^b	-	3.7 -	2.4 -	-	-	1.1 -	44.5 -	-	10.8 -	-
		7.9	8.9			3.5	71.3		18.3	

หมายเหตุ Tr: Trace

ที่มา: ^a Ma and Hanna (1999)

^b Agarwal (2006)

สบู่ดำ

ปริมาณน้ำมันปิโตรเลียมของโลกที่มีแนวโน้มลดลง และคาดว่าจะสามารถใช้ได้อีกเพียง 30 – 40 ปีข้างหน้าเท่านั้น ทำให้น้ำมันจากฟอสซิลกลายเป็นสินค้าที่สำคัญ และมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง วิกฤตการณ์น้ำมันเชื้อเพลิงในขณะนี้ได้กระตุ้นเตือนให้มนุษย์หันมาอนุรักษ์พลังงานมากขึ้น และ พยายามค้นหาพลังงานทดแทนหลายอย่าง พืชน้ำมันเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ (อวยพร, 2548) น้ำมันสบู่ดำนั้นจัดได้ว่าเป็นพืชน้ำมันที่เป็นทางเลือกสำคัญในการพัฒนาน้ำมันมาใช้ประโยชน์เป็นพืชน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดสบู่ดำสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำได้ทันทีและราคาน้ำมันสบู่ดำอาจไม่แปรปรวนเหมือนพืชน้ำมันอื่นเนื่องจากไม่ใช้น้ำมันที่บริโภคเป็นอาหาร (นิรนาม, 2548 ข)

1. ลักษณะทั่วไปของสบู่ดำ

สบู่ดำมีชื่อทางภาษาอังกฤษว่า Physic nut มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas L.* อยู่ในวงศ์ *Euphorbiaceae* ซึ่งเป็นวงศ์เดียวกับยางพารา ใบเขียวมันสำปะหลัง มะยม เป็นไม้พุ่มขนาดกลางสูงประมาณ 6 เมตร จัดเป็นไม้ยืนต้นได้เพราะมีอายุไม่น้อยกว่า 20 ปี ผลมีสีเขียว เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองนวล ผลในช่อเดียวกันจะสุกแก่ไม่พร้อมกัน เมื่อผลแห้งแกะดูจะมีเมล็ดอยู่ภายใน 3 เมล็ด ลักษณะคล้ายเมล็ดละหุ่ง เมล็ดมีสีดำกว้างประมาณ 1 เซนติเมตร และยาวประมาณ 2 เซนติเมตร เนื้อในของเมล็ดมีสีขาว (นิรนาม, 2548 ข)

ถิ่นดั้งเดิมอยู่ในทวีปอเมริกาเขตร้อน ปลูกกันมากที่แหลม Verde ทวีปอาฟริกา สามารถปลูกในที่ดินที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้และปลูกเป็นรั้ว สามารถเก็บเมล็ดได้ประมาณ 70 – 200 กิโลกรัมต่อไร่ (ทวีศักดิ์, 2548) ชาวโปรตุเกส เป็นผู้นำสบู่ดำเข้ามาปลูกในประเทศไทยตั้งแต่ในช่วงปลายสมัยกรุงศรีอยุธยา ทั้งนี้เพื่อรับซื้อเมล็ดไปคัดบิบน้ำมันสำหรับทำสบู่ ในช่วงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 มีการนำเอาน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดสบู่ดำนำมาจุดไฟแทนการใช้เทียนไข โดยมีคุณสมบัติเด่นคือ ไม่มีเขม่า ส่วนแหล่งปลูกสบู่ดำในประเทศไทยพบว่าปลูกกันมากแล้วในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ (นิรนาม, 2548 ก)

สบู่ดำเป็นชื่อที่ใช้เรียกทางภาคกลาง ภาคเหนือเรียกมะหุ้งฮั่ว ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกมะเข่า ชาวโคราชเรียกสีหลอด ส่วนภาคใต้เรียกหงเทศ (อวยพร, 2548)

1.1 พันธุ์สบู่ดำที่พบในประเทศไทยมี 3 พันธุ์คือ

1.1.1 พันธุ์สบู่ดำที่มีผลทรงกลม ขนาดของผลปานกลาง มีเปลือกหนาปานกลาง

1.1.2 พันธุ์สบู่ดำที่มีผลทรงกลมหรือรูปทรงของผลยาวกว่าพวกแรกเล็กน้อย ส่วนผลนั้นมีขนาดเท่ากัน แต่มีเปลือกหนากว่า

1.1.3 พันธุ์สบู่ดำที่มีผลกลมแต่มีขนาดของผลเล็กกว่าสองพวกแรก

1.2 ลักษณะทางกายภาพของสบู่ดำ

สบู่เป็นพืชยืนขนาดกลาง ซึ่งเป็นไม้เนื้ออ่อน โดยธรรมชาติที่ไม่มีการตัดแต่งดูแล ถ้าต้นจะมีความสูงได้ถึง 3 – 7 เมตร ใบของสบู่ดำมีคุณสมบัติพิเศษที่จะลดการคายน้ำมันถ้าสภาพแวดล้อมไม่ดี เช่น สภาพแล้ง ดินขาดน้ำ สบู่ดำมีเมล็ด 2 – 4 เมล็ดต่อผล เมล็ดสบู่ดำมีสีดำผิวเรียบเป็นมัน แต่เมื่อแห้งผิวจะมีลักษณะหยาบ (พรชัย, 2549)

2. ประโยชน์และโทษของสบู่ดำ

2.1 ประโยชน์ของสบู่ดำ (นิรนาม, 2548 ข)

ทุกส่วนของลำต้นรวมทั้งเมล็ดของสบู่ดำ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ดังแสดงในภาพที่ 2

2.1.1 ราก น้ำต้มรากกินเป็นยาแก้ท้องเสีย ใช้ทาถูขนาด แก้ปวดตามข้อ (อวยพร, 2548)

2.1.2 ใบและเปลือกไม้ ใบอ่อนสามารถนำมาดื่ม หรือต้มรับประทานได้อย่างปลอดภัย ส่วนเปลือกไม้สามารถนำมาสกัดเอาแทนนิน (Tannin) ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังได้

2.1.3 เมล็ด ใช้เป็นยาถ่าย ขาระบาย

2.1.4 กากเมล็ด ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่เหลือจากการหีบเอาน้ำมันไปใช้แล้ว จะนำมาอัดเป็นก้อน ส่วนนี้จะมีเคอร์ซิน (Curcin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่เป็นพิษ เหมือนกับไรซิน (Ricin) ในละหุ่ง ไม่เหมาะที่จะนำมาเลี้ยงสัตว์ แต่เหมาะที่จะนำมาทำปุ๋ย หรือนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่อง Steam Turbine สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.1.5 น้ำมัน น้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเป็นผลผลิตที่สำคัญของสบู่ดำ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายประการดังนี้

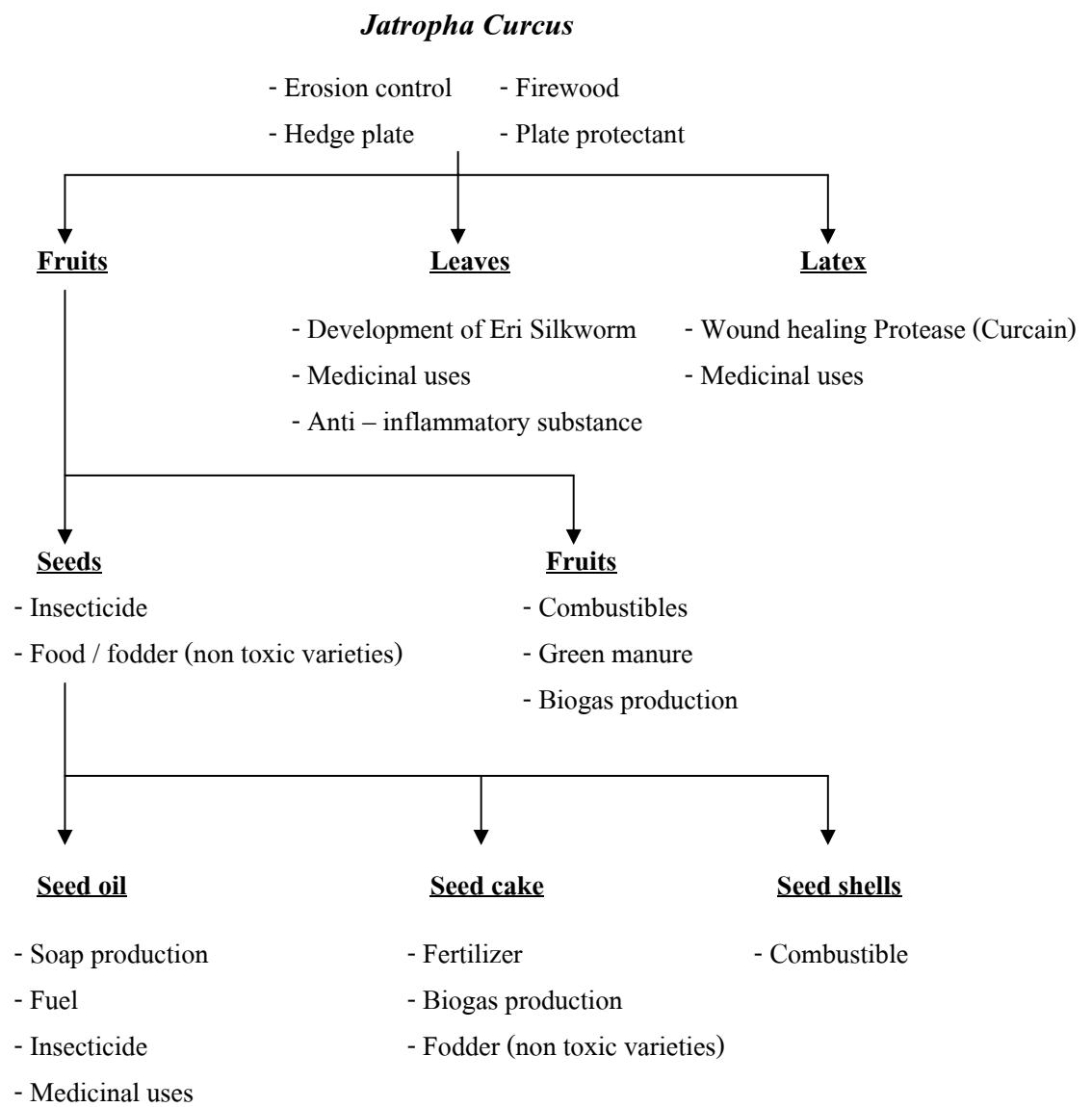
ก. ทำเครื่องสำอางและถนอมผิว น้ำมันจากเมล็ดสามารถนำมาทาแก้โรคผิวหนัง พร้อมทั้งสามารถบรรเทาอาการปวดข้ออันเนื่องมาจากรูมาตอยด์ได้ด้วย กรดลิโนลิคในน้ำมันสบู่ดำมีอยู่ประมาณ 36 เปอร์เซ็นต์ มีความน่าสนใจในการนำมาทำเป็นครีมถนอมผิว

ข. สารเคมีกำจัดศัตรูพืช น้ำมันและสารสกัดจากน้ำมันสบู่ดำ สามารถนำมาใช้กำจัดศัตรูพืชได้ โดยมีตัวอย่างในการนำไปใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืช โดยเฉพาะหนอนเจาะปอฝ้าย สารสกัดเมทานอล (Methanol Extracts) จากสบู่ดำ ซึ่งประกอบด้วยสารพิษบางชนิด มีการทดลองนำไปใช้ในการควบคุมพยาธิในหอยที่นำมาบริโภค

ค. ทำสบู่ มีการนำเอาน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำมาผลิตสบู่ โดยการนำน้ำมันมาต้มกับโซดา มีการทดลองในห้องปฏิบัติการของบริษัท ตาตา ออยล์ มิลล์ จำกัด (TaTa Oil Mills Co.Ltd.) ในเมืองบอมเบย์ ประเทศอินเดีย โดยการนำส่วนผสมที่ประกอบด้วยน้ำมันสบู่ดำที่มีส่วนผสมของไฮโดรเจน (Hydrogenated Physic nut) 75 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันสบู่ดำบริสุทธิ์ 15 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันมะพร้าว 10 เปอร์เซ็นต์ ผลิตเป็นสบู่ที่มีฟองและมีค่าพีเอชเป็นกลาง ใช้สำหรับทำความสะอาดร่างกายได้

ง. น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับจุดไฟ เชื้อเพลิงในการปรุงอาหาร และน้ำมันไบโอดีเซล

นิรนาม (2548 ก) จากผลการวิจัยรายงานตรงกันว่า น้ำมันที่สกัดได้จากสบู่ดำสามารถนำมาใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องเพิ่มส่วนผสมอื่นๆ เหมาะกับเครื่องยนต์สูบล้อรอบต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะของเรือจักรกลการเกษตร นอกจากนี้ยังมีปริมาณค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลและไม่มีผลกระทบต่อเครื่องยนต์ อีกทั้งสามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำมันดีเซลและเบนซิน



ภาพที่ 2 ประโยชน์ของสนุ่นดำ
ที่มา Gubitz *et al.* (1999)

2.2 โทษของสบู่ดำ

อวยพร (2548) รายงานว่า ต้น ใบ ผล และเมล็ดของสบู่ดำ มีสารพิษเป็นกรดที่เรียกว่า ไฮโดรไซยานิก (Hydrocyanic) เช่นเดียวกับมันสำปะหลัง มีกลิ่นเหม็นเขียว ทำให้สัตว์เลี้ยง เช่น โค กระบือ ม้า แพะ และแกะ ไม่เข้าใกล้และกัดกินสบู่ดำ นอกจากนี้ ทวีศักดิ์ (2548) ยังพบว่าเมล็ดสบู่ดำ ยังมีสารพิษที่เรียกว่า เคอร์ซิน (Curcin) และสารพวก เรซิน (Resin) เจือปนอยู่ หากบริโภคแล้วจะทำให้ท้องเดินมีฤทธิ์คล้ายสลอดและถ้าบริโภคในปริมาณมากอาจทำให้เสียชีวิต จากรายงานศูนย์วิจัยมะเร็งแห่งประเทศไทย ได้ทำการวิจัยค้นคว้า พบว่าน้ำมันสบู่ดำมีสารที่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและเป็นสารกระตุ้นทำให้เกิดเนื้องอกหากสัมผัสในระยะยาวได้

3. การสกัดน้ำมันจากสบู่ดำ

ในภาพที่ 3 แสดงเครื่องสกัดน้ำมันที่เรียกว่า Hydraulic Press ซึ่งเป็นเครื่องหีบน้ำมันสบู่ดำอย่างง่าย ๆ โดยบรรจุเมล็ดสบู่ดำลงในกระบอกสี่แฉกตรงกลาง แล้วขันแม่แรงที่วางอยู่ด้านข้างขึ้นไป ขณะเดียวกันก็หมุนแท่นเกลียวที่อยู่ทางส่วนบนของเครื่องกดลงมาก็จะเกิดการหีบเมล็ดสบู่ดำที่ใส่ไว้ในกระบอก น้ำมันจะไหลออกมาทางท่อที่อยู่ด้านหลังของกระบอกใช้ขวดหรือภาชนะรองรับ (ทวีศักดิ์, 2548) เครื่องมือในการหีบสบู่ดำอาจมีการดัดแปลงให้มีขนาดและต้นทุนให้เหมาะสมแก่ชุมชน กระบวนการหีบที่มีศักยภาพคือการใช้เครื่องหีบแบบใช้แรงอัดเกลียว (screw press) ซึ่งในกระบวนการหีบจะได้กากสบู่ดำจำนวนหนึ่ง จากการคำนวณโดยทั่วไปในเมล็ดสบู่ดำแห้ง 4 กิโลกรัม จะมีกากออกมาประมาณ 3 กิโลกรัม โดยจะมีน้ำมันสบู่ดำที่เป็นน้ำมันดิบประมาณ 1 กิโลกรัม กากสบู่ดำจะถูกส่งออกไปทำปุ๋ยได้เพราะมีปริมาณแร่ธาตุอยู่มาก (พรชัย, 2549) ความแตกต่างของน้ำมันสบู่ดำที่สกัดได้โดยกรรมวิธีที่แตกต่างกันจะให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องน้ำมัน Hydraulic Press

ที่มา: ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร (2549)

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำมันสบูดำที่สกัดโดยใช้กรรมวิธีที่ต่างกัน

กรรมวิธีการสกัดน้ำมัน	ปริมาณน้ำมัน
1.เครื่องและอุปกรณ์แบบเทคโนโลยีชาวบ้าน	20 – 25 % ¹
2.การสกัดด้วยระบบไฮดรอลิก	25 - 30 % ²
3.การสกัดในห้องปฏิบัติการจากเนื้อเมล็ดสบู่ดำโดยใช้ ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวสกัด	46 – 48.6 % ³

ที่มา: ¹ ทวีศักดิ์ (2548)

² อวยพร (2548)

³ Kandpal and Madan (1995)

4. องค์ประกอบของน้ำมันสบู่ดำ

อวยพร (2548) ส่วนใหญ่ในน้ำมันเมล็ดสบู่ดำมีกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบสำคัญอยู่ 4 ชนิด คือ ปาล์มมิติก สเตียริก โอเลอิก และ ลิโนเลอิก เช่นเดียวกับปาล์มน้ำมัน ดังรายละเอียดในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันสบู่ดำ

ชนิดกรดไขมัน	ปริมาณส่วนประกอบ ¹ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณส่วนประกอบ ² (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณส่วนประกอบ ³ (เปอร์เซ็นต์)
กรดปาล์มมิติก C _{16:0}	16.17	15.38	12.8
กรดสเตียริก C _{18:0}	5.11	6.24	7.3
รวมกรดไขมันอิ่มตัว	21.28	21.62	20.1
กรดโอเลอิก C _{18:1}	44.88	40.23	44.8
กรดลิโนเลอิก C _{18:2}	33.84	36.32	34.0
รวมกรดไขมันไม่อิ่มตัว	78.72	76.55	78.8
อื่นๆ	-	-	1.1

ที่มา: ¹ ทวีศักดิ์ (2548)

² นิรนาม (2548 ข)

³ Kandpal and Madan (1994)

จากตารางที่ 4 พบว่า การที่น้ำมันสบู่ดำมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณมาก จึงทำให้น้ำมันสบู่ดำมีคุณสมบัติไม่แข็งตัวเมื่ออากาศเย็น นั่นคือสามารถใช้ได้ในสภาพอากาศเย็น โดยจะเริ่มเป็นไขที่อุณหภูมิ -7 องศาเซลเซียส (อวยพร, 2548)

ไบโอดีเซล (Biodiesel)

รติกร (2549) ได้นำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับมานานหลายปีแล้ว โดยเริ่มจากการทดลองเอาน้ำมันพืช เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว ที่เป็นผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ น้ำมันจากสัตว์ เช่น น้ำมันหมู หรือแม้แต่ไขมันที่ผ่านการใช้แล้ว หรือนำมาผสมลงใน น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าดในสัดส่วนต่างๆที่เราเรียกกันว่า น้ำมันดีเซลปาล์ม (Palm – Biesel) น้ำมันดีเซลมะพร้าว (Coco – Biesel) ตามชนิดของน้ำมันพืชที่นำมาผสม เพื่อให้พอใช้งานได้สำหรับเครื่องยนต์รอบต่ำ เช่น เครื่องจักรที่ใช้ในเกษตรกรรม แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันดังกล่าวเมื่อนำมาใช้โดยตรงกับเครื่องยนต์มักจะเกิดปัญหาการสะสมของคราบเขม่าในห้องเผาไหม้ เกิดการอุดตันของหัวฉีด เครื่องยนต์เดินไม่เรียบ เนื่องจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์มีความหนืดสูง (11 – 17 เท่าของความหนืดของน้ำมันดีเซล) อีกทั้งยังมีความดันไอลำ ซึ่งป็นสาเหตุทำให้เครื่องยนต์เกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ (Khan, 2002)

ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงดีเซลที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือสาหร่าย ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนทางเลือกนอกเหนือจากดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียม โดยมีคุณสมบัติการเผาไหม้เหมือนกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมมาก จึงสามารถใช้ทดแทนกันได้ ในตารางที่ 5 ได้แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันชนิดต่างๆ คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างของไบโอดีเซลคือสามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพในธรรมชาติ (Biodegradation) และไม่เป็นพิษ (Non – Toxic) ต่อสิ่งแวดล้อม (Wikipedia, 2006) ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลแทนการใช้น้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมจึงเป็นการช่วยลดมลภาวะในอากาศ เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่มากกว่าน้ำมันดีเซล อีกทั้งยังสามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรเพราะไบโอดีเซลผลิตมาจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ (กองบรรณาธิการ, 2548) ส่วนกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไปแสดงดังภาพที่ 4

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซล

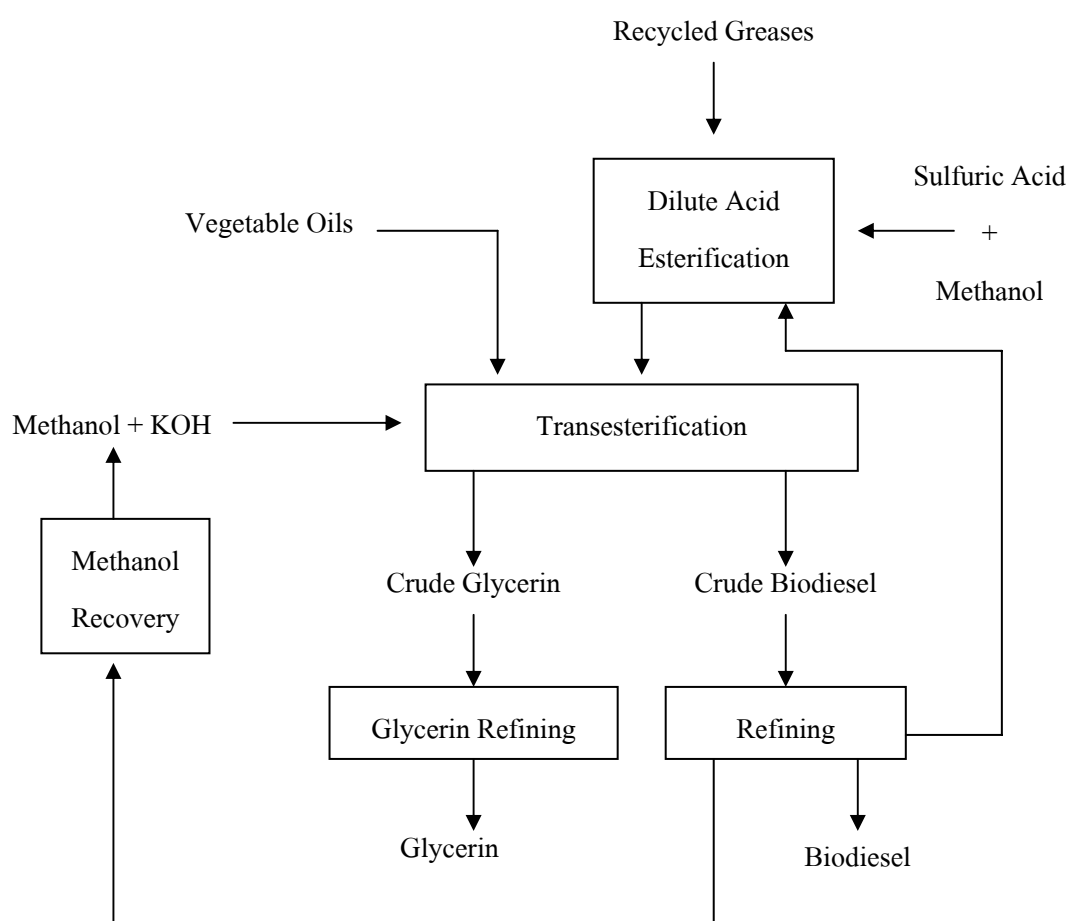
Vegetable oil methyl ester	Kinematic viscosity (mm ² /s)	Cetane number	Lower heating value(MJ/l)	Cloud point(°C)	Flash point(°C)	Density(g/l)	Sulfer (%wt)
Peanut ^a	4.9(37.8 ⁰ c)	54	33.6	5	176	0.883	-
Soybean ^a	4.5(37.8 ⁰ c)	45	33.5	1	178	0.885	-
Soybean ^b	4.0(40 ⁰ c)	45.7-56	32.7	-	-	0.880(15 ⁰ c)	-
Babassu ^a	3.6(37.8 ⁰ c)	63	31.8	4	127	0.879	-
Plam ^a	5.7(37.8 ⁰ c)	62	33.5	13	164	0.880	-
Plam ^b	4.3-4.5(40 ⁰ c)	64.3-70	32.4	-	-	0.872-0.877 (15 ⁰ c)	-
Sunflower ^a	4.6(37.8 ⁰ c)	49	33.5	1	183	0.860	-
Tallow ^a	-	-	-	12	96	-	-
Rapeseed ^b	4.2(40 ⁰ c)	51-59.7	32.8	-	-	0.882(15 ⁰ c)	-
Used rapeseed ^c	9.48(30 ⁰ c)	53	36.7	-	192	0.895	0.002
Used corn oil ^c	6.23(30 ⁰ c)	63.9	42.3	-	166	0.884	0.0013
Diesel fuel ^b	12-3.5(40 ⁰ c)	51	35.5	-	-	0.830-0.840 (15 ⁰ c)	-
JIS-2D ^c (Gas oil)	2.8(30 ⁰ c)	58	42.7	-	59	0.833	0.05

หมายเหตุ ^a Srivastava and Prasad, (2000)

^b Varese and Varese (1996)

^c Yamane *et al.* (2001)

ที่มา: Fukuda *et al.* (2001)



ภาพที่ 4 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไป

ที่มา: Federal Agencies (2005)

1. มาตรฐานไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลอาจนำมาใช้โดยการผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ ซึ่งเราเรียกชื่อของน้ำมันชนิดนี้โดยใช้สัญลักษณ์เป็น B แล้วตามด้วยตัวเลขที่แสดงปริมาณร้อยละของไบโอดีเซลที่ใช้ผสมเช่น B5 หมายถึง ไบโอดีเซลผสมที่มีไบโอดีเซลผสมอยู่ร้อยละ 5 โดยปริมาตร หรือการนำไบโอดีเซลมาใช้โดยไม่ผสมที่เราเรียกว่า B100 ไบโอดีเซลนอกจากจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไบโอดีเซลแล้ว ยังเป็นเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้ดี มีการสันดาปที่ดีกว่าน้ำมันดีเซล ช่วยลดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เหม่าและควันดำจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ จึงทำให้ปัจจุบันมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางทั้งในประเทศและต่างประเทศ สำหรับประเทศไทยรัฐบาลได้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาระบบการผลิตไบโอดีเซลเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซล

และมีปริมาณเพียงพอที่จะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล รวมทั้งการกำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆของไบโอดีเซล เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล ประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันล้วน โดยกรมธุรกิจพลังงาน ซึ่งประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 24 สิงหาคม 2548 ดังแสดงในตารางที่ 6 เมื่อพิจารณาข้อกำหนดและมาตรฐานวิธีทดสอบการตรวจสอบไบโอดีเซลในตารางที่ 6 สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (รติกร, 2549) คือ

1.1 การตรวจสอบคุณสมบัติทั่วไปที่เป็นข้อกำหนดคุณภาพที่ดีของน้ำมัน ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ความหนืด จุดวาบไฟ ปริมาณกำมะถัน ปริมาณกากถ่าน จำนวนซีเทน ปริมาณเถ้าซัลเฟต ปริมาณน้ำ สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด การกักคร่อนแผ่นทองแดง ค่าความเป็นกรด และปริมาณโลหะอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ทที่ปนเปื้อน

1.2 การตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่

1.2.1 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์และกรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (สัดส่วนของปริมาณกรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันทั้งหมด) ซึ่งจะแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่ใช้

1.2.2 ปริมาณเมทานอล โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรินอิสระ และกลีเซอรินทั้งหมด ซึ่งกำหนดเกณฑ์ให้มีปริมาณสารเหล่านี้อยู่ในปริมาณน้อย เพราะเป็นการบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำมันพืชและสัตว์กับเมทานอล และมีกระบวนการแยกกลีเซอรินที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกไปได้เป็นอย่างดี

1.2.3 ทดสอบการมีเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และค่าไอโอดีน เนื่องจากไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันพืชจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพการเก็บ

ตารางที่ 6 ข้อกำหนดคุณสมบัติของไบโอดีเซลและวิธีการตรวจสอบ

รายการ	คุณสมบัติ	ข้อกำหนด	วิธีทดสอบ
1	เมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	EN 14103
		ไม่ต่ำกว่า 96.5	
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (Density at 15°C)	ไม่ต่ำกว่า 860 และไม่เกิน 900	ASTM D 1298
	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร		
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (Viscosity at 40°C)	ไม่ต่ำกว่า 3.5 และไม่เกิน 5.0	ASTM D 445
	เซนติสโตกส์		
4	จุดวาบไฟ (Flash point)	ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D 93
	องศาเซลเซียส		
5	กำมะถัน (Sulphur)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ASTM D 2622
		ไม่สูงกว่า 0.0010	
6	กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon residue, on 10 % distillation residue)	ไม่สูงกว่า 0.30	ASTM D 4530
	ร้อยละโดยน้ำหนัก		
7	จำนวนซีเทน (Cetane number)	ไม่ต่ำกว่า 51	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟต (Sulfated ash)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ASTM D 874
		ไม่สูงกว่า 0.02	
9	น้ำ (Water)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ASTM D 2709
		ไม่สูงกว่า 0.050	
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total contaminant)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ASTM D 5452
		ไม่สูงกว่า 0.0024	
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosion)	ไม่สูงกว่า หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (Oxidation stability at 110°C)	ไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง	EN 14112
13	ค่าความเป็นกรด (Acid number)	มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม	ASTM D 664
		ไม่สูงกว่า 0.50	
14	ค่าไอโอดีน (Iodine value)	กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัม	EN 14111
		ไม่สูงกว่า 120	

ตารางที่ 6 (ต่อ)

รายการ	คุณสมบัติ	ข้อกำหนด	วิธีทดสอบ
15	กรดลิโนลินิกเมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่สูงกว่า 12.0	EN 14103
16	เมทานอล (Methanol)	ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14110
17	โมนอกลิเซอไรด์ (Monoglyceride)	ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่สูงกว่า 0.80	EN 14105
18	ไดกลิเซอไรด์ (Diglyceride)	ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
19	ไตรกลิเซอไรด์ (Triglyceride)	ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระ (Free glycerine)	ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerine)	ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่สูงกว่า 0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่มที่ 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่สูงกว่า 5.0	EN 14108 และ EN14109
	โลหะกลุ่มที่ 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่สูงกว่า 5.0	prEN 14538
23	ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (additive) (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับ ความเห็นชอบจากอธิบดี กรมธุรกิจพลังงาน	

ที่มา: รติกร (2549)

2. การผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้หลายวิธีคือ การใช้โดยตรงและการผสม ไมโครอิมัลชัน (Microemulsions) กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) กระบวนการทรานส์เอสเทอร์

ฟิเคชันกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยการทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤต นอกจากนั้นยังมีการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทราส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ วิวิพพันธ์ในการผลิตไบโอดีเซลด้วย (Heterogeneous Catalyst) (Ma and Hanna, 1999; Fukuda *et al.*, 2001; Jitputti *et al.*, 2005; Meher *et al.*, 2004; Marchetti *et al.*, 2005) วิธีการผลิตไบโอดีเซลดังกล่าวข้างต้นแสดงรายละเอียดดังนี้

2.1 การใช้โดยตรงและการผสม

การใช้โดยตรงคือ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์เช่น น้ำมันหมู ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสมหรือผสมสารเคมีอื่นหรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน ส่วนแบบผสมคือเป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืช (หรือไขมันสัตว์) กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซลหรืออื่นๆ เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น โคโคดีเซลที่ประจวบศิริพันธ์ซึ่งเป็นการผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล (กองบรรณาธิการ, 2548)

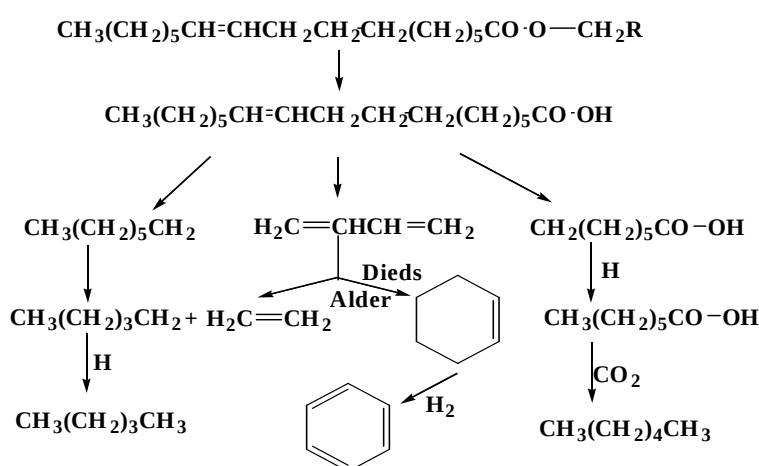
2.2 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsions)

ไมโครอิมัลชัน คือ คอลลอยด์ที่กระจายตัวในสถานะสมดุลโดยมีอนุภาคในคอลลอยด์ส่วนมากอยู่ในช่วง 1 – 150 นาโนเมตร ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งเพื่อแก้ปัญหาค่าความหนืดสูงในน้ำมันพืชให้มีค่าความหนืดลดลง โดยใช้ควบคู่กับตัวทำละลายเช่น เมทานอล , เอทานอล และ 1 – บิวทานอล (Srivasyava and Prasad, 1999) ไมโครอิมัลชันที่เกิดจากเมทานอลกับน้ำมันพืชจะได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่เมื่อนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่าการสะสมตัวของคราบ (ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอน) เกาะรอบๆหัวฉีดและวาล์วของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นข้อเสียของน้ำมันที่ผลิตโดยวิธีนี้ (Ma and Hanna, 1999)

2.3 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis or Thermal Cracking)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนจากสารประกอบหนึ่งชนิดไปเป็นสารประกอบอื่นๆมากกว่าหนึ่งชนิด โดยใช้ความร้อนหรือใช้ความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้จะต้องจำกัดปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ อุณหภูมิที่ใช้ใน

กระบวนการประมาณ 450 – 600 องศาเซลเซียส สารประกอบที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะถูกทำให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง ซึ่งกระบวนการนี้ยากที่จะกำหนดหรือควบคุมให้ได้ผลิตตามที่ต้องการเนื่องด้วย ความหลากหลายทางปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ วัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ (Natural Fatty Acid) และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Ma and Hanna, 1999) กลไกของกระบวนการแตกสลายทางความร้อนแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กระบวนการแตกสลายทางความร้อน
ที่มา: Srivasyava and Prasad (1999)

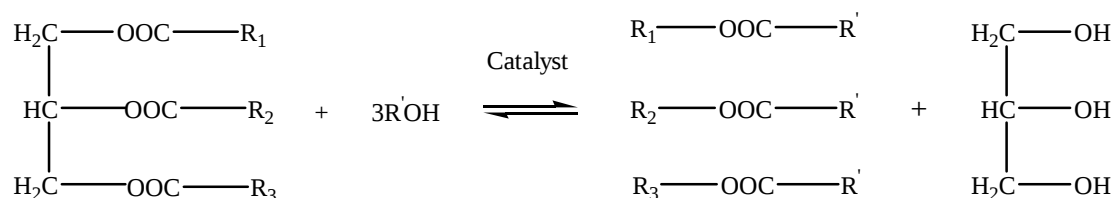
2.4 การทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤต (Supercritical Methanol)

เป็นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งวิธีนี้เป็นการนำเอาน้ำมัน วัตถุดิบมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤต ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย พร้อมทั้งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมกล่าวคือ ไม่มีของเสียจากกระบวนการ แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะต้องใช้อุณหภูมิและความดันในระดับที่ค่อนข้างสูงประมาณ 512.2 เคลวิน และ 8.1 เมกะปาสคาล ตามลำดับ เพื่อต้องทำให้เมทานอลอยู่ในสถานะเหนือวิกฤต (Demirbas, 2006)

2.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification or Alcoholysis)

กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยมีตัวเร่งในปฏิกิริยา

(Ma and Hanna, 1999) ดังแสดงในภาพที่ 6 ตัวเร่งปฏิกิริยาทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น (Agarwal, 2006)



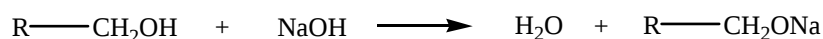
ภาพที่ 6 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์
ที่มา: Ma and Hanna (1999)

2.5.1 ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและผลิตภัณฑ์เกิดได้ดีขึ้น โดยชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้ดังนี้ (Marchetti *et al.*, 2005)

ก. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Base Catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งควรใช้ทำปฏิกิริยากับเมทานอลหรือเอทานอล โดยน้ำมันที่ใช้จะเป็นชนิดใดก็ได้เช่น น้ำมันดิบ (Crude Oil) น้ำมันที่ใช้แล้ว เป็นต้น ก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันควรเปลี่ยนจากรูปเบส (NaOH, KOH) ไปเป็นในรูปของสารประกอบ อัลคอกซี (alkoxy) ก่อนโดยการเตรียมสารประกอบอัลคอกซีเป็นไปดังปฏิกิริยาเคมีในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ปฏิกิริยาเคมีในการเตรียมสารอัลคอกซี
ที่มา: Marchetti *et al.* (2005)

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสนี้จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอีกทั้งยังให้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) ในปริมาณที่สูงด้วย (Ma and Hanna, 1999) ส่วนข้อจำกัดสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสคือ น้ำ และ ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบ (Free Fatty Acid) ถ้ามีน้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในระบบของการเกิดปฏิกิริยาในปริมาณมากจะทำให้มีสบู่เกิดขึ้นแทนที่จะได้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์ (Agarwal, 2006)

ข. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid Catalyst)

กรดที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะทำให้ได้ผลผลิตคือน้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณมากแต่ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก อาจจะใช้เวลามากกว่า 1 วันกว่าปฏิกิริยาจะเกิดอย่างสมบูรณ์ แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถใช้ได้ดีกับกลีเซอรอลที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและน้ำในปริมาณสูงได้เช่น ในน้ำมันที่ใช้แล้วเป็นต้น (Fukuda *et al.*, 2001)

ค. เอนไซม์ไลเปส (Lipase)

เอนไซม์ไลเปสถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆเช่น ไฮโดรไลซิสของกลีเซอรอล แอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) และ แอซิโดไลซิส (Acidolysis) ข้อดีของเอนไซม์ไลเปสคือ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ไม่มีของเสียออกมาจากกระบวนการ ข้อเสียของเอนไซม์คือมีราคาค่อนข้างแพง (Fukuda *et al.*, 2001)

ง. ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Catalyst)

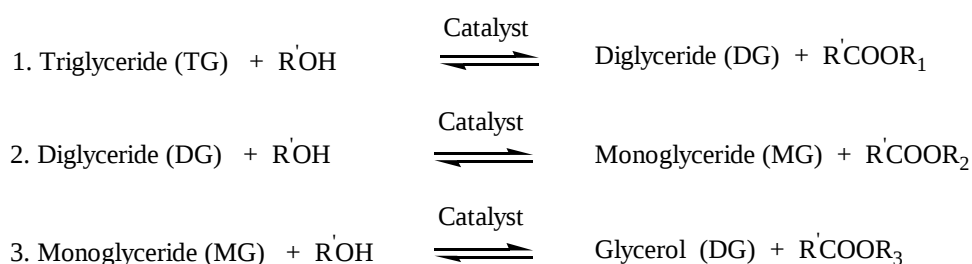
เป็นการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวในระบบ เช่น ZrO_2 ZnO KNO_3/ZrO_2 KNO_3/KL zeolite เป็นต้น ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งในระบบที่มีน้ำในปฏิกิริยา (Jitputti *et al.*, 2005)

2.5.2 แอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และ บิวทานอล โดยเฉพาะเมทานอลถูกใช้มากที่สุดเพราะมีราคาถูกอีกทั้งยังมีข้อดีในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพและด้านเคมี คือ เป็น โมเลกุลขนาดเล็กมีขั้ว ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวของเมทานอลสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลได้อย่างรวดเร็วและสามารถละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดี ตามสัดส่วนของปฏิกิริยาเคมีพบว่าเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ต้องใช้อัตราส่วนโดยโมล แอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 3:1 แต่ในทางปฏิบัติต้องใช้อัตราส่วนที่มากกว่านั้น หลังปฏิกิริยาลิ้นสุดผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของผสมระหว่าง เอสเทอร์ กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยา ไตร-, ได -, และ โมโนกลีเซอรอล เพราะฉะนั้นการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก เพราะถ้าไบโอดีเซลมีส่วนผสมของโมโนกลีเซอรอลจะทำให้ไบโอดีเซลเกิดการแข็งตัวง่าย ทั้งนี้ถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่ในไบโอดีเซลก็จะทำให้จุดหมอกควัน (Cloud Point) และจุดไหลเท (Pour Point) มีค่าสูงขึ้นด้วย (Ma and Hanna, 1999)

2.5.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อยแบบผันกลับได้ 3 ขั้นตอนย่อย นั่นคือเริ่มจากไตรกลีเซอรอล เปลี่ยนเป็นไดกลีเซอรอล โมโนกลีเซอรอล ตามลำดับสุดท้ายได้เป็น เอสเทอร์ กับ กลีเซอรอล ดังแสดงในภาพที่ 8 จากกลไกข้างล่างพบว่าแต่ละขั้นตอนย่อยจะได้ 1 โมลของเอสเทอร์

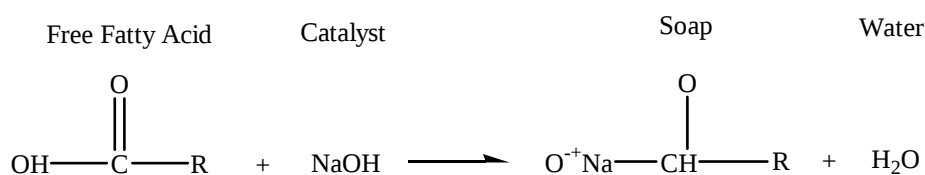


ภาพที่ 8 กลไกการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์
ที่มา: Fukuda *et al.* (2001)

2.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ก. ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (NaOH , KOH , คาร์โบเนต เป็นต้น) กลีเซอรีนและแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสมเพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาดังแสดงในภาพที่ 9 สบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลคือทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจล และ ยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย

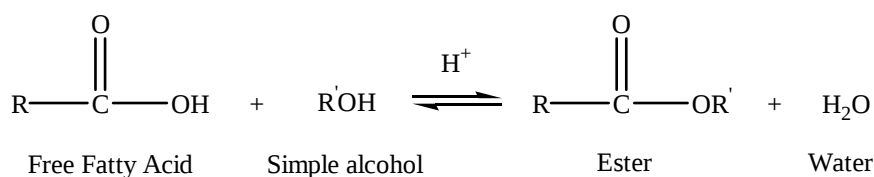


ภาพที่ 9 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)

ที่มา: Waste Management and Research Center (2006)

จากภาพที่ 9 จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ทำให้ปฏิกิริยาการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดสบู่ได้นอกจากน้ำแล้วยังมี กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ที่มีอยู่ในน้ำมันวัตถุดิบ ดังนั้นในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันวัตถุดิบควรมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันวัตถุดิบที่มากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) น้อยลง (Ramsdhas *et al.*, 2005)

แต่สำหรับน้ำมันวัตถุดิบที่ค่าความเป็นกรดสูง (มากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อกรัม) จะต้องนำน้ำมันมาทำการลดค่าความเป็นกรดลง โดยให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid esterification) ดังแสดงในภาพที่ 10 แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ (Ramadhas *et al.*, 2005)



ภาพที่ 10 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ที่มา: Khan (2002)

ข. ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

Agarwal (2006) อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับ เพราะฉะนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามากขึ้นซึ่งก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน โดยในภาพที่ 6 สัดส่วนในปฏิกิริยาพบว่าต้องใช้ 3 โมลของแอลกอฮอล์ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นยังใช้อัตราส่วนมากเท่าไรก็จะทำให้ได้เอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) มากขึ้นเท่านั้นและภายในเวลาที่สั้นลงด้วย อัตราส่วน 6:1 เป็นค่าที่ถูกใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมพบว่าได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ (Fukuda *et al.*, 2001)

ค. ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งสามารถแบ่งได้เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด หรือ เอนไซม์ กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่ง แต่อย่างไรก็ตามกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณมากและมีน้ำผสมอยู่ด้วยการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมกว่า (Ma and Hanna, 1999) โดยในตารางที่ 7 คือตารางที่เปรียบเทียบข้อแตกต่างของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด และเอนไซม์

เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสที่ความเข้มข้น 0.5 – 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลได้ผลิตภัณฑ์ (yield) 94 – 99 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบสไม่ได้เป็นการช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้น แต่กลับเพิ่มค่าใช้จ่ายในขั้นตอนของการล้างเอาตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์ (Agarwal, 2006)

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด และเอนไซม์

ตัวแปร	ตัวเร่งชนิดเบส	ตัวเร่งชนิดกรด	เอนไซม์ไลเปส
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60 - 70	55 - 80	30 - 40
กรดมันอิสระในน้ำมัน	เกิดสบู่	เกิดเอสเทอร์	เกิดเอสเทอร์
น้ำในน้ำมัน	มีผลกระทบต่อการศึกษา	มีผลกระทบต่อการศึกษา	ไม่มีผลกระทบต่อการศึกษา
ปริมาณผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์	ปกติ	ปกติ	สูง
การ Recovery กลีเซอรอล	ยาก	ยาก	ง่าย
การทำให้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์	ทำการล้างซ้ำ	ทำการล้างซ้ำ	ไม่ต้องล้าง
ราคา	ถูก	ถูก	ค่อนข้างแพง

ที่มา: Marchetti *et al.* (2005)

ง. ผลของเวลาและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา

Meher *et al.* (2006) อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา นั่นคือถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้นเช่นกัน

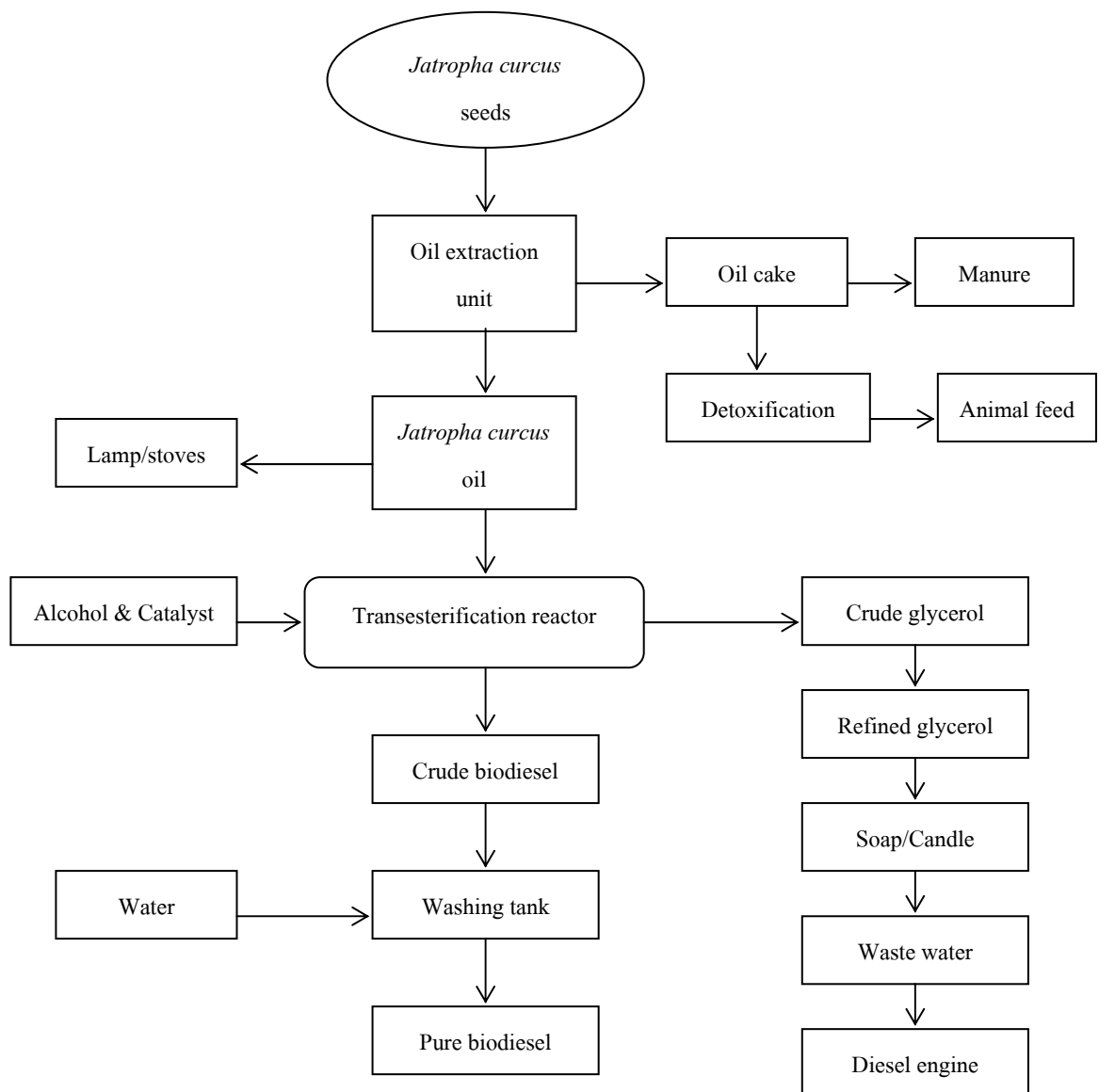
Agarwal (2006) อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เพียงพอ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เช่นกันภายใต้การทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้เช่น ถ้าเป็นเมทานอลอุณหภูมิที่ใช้คือ 60 – 70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ (โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา)

จ. ผลของอัตราการกวนผสม

การกวนผสมถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพราะน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการกวนผสมให้เนื้อสารสัมผัสกันปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจึงจะเกิดและได้เป็นไบโอดีเซล (Meher *et al.*, 2006)

3. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำระดับ Pilot Plant (Biodiesel pilot plant)

การผลิตไบโอดีเซลระดับ Pilot Plant โดยใช้ น้ำมันสบู่ดำเป็นวัตถุดิบแสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำแบบ Pilot Plant และผลพลอยได้จากระบวนการ

ที่มา: Ramesh *et al.* (2006)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

1. การวิเคราะห์การถดถอยแบบพื้นผิว (Response Surface Regression Analysis)

การวิเคราะห์แบบถดถอยเป็นวิธีการหนึ่งที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ประเภท คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable: นิยมใช้สัญลักษณ์ Y) และตัวแปรอิสระ (Independent Variable: นิยมใช้สัญลักษณ์ X) โดยมุ่งเน้นที่จะพยากรณ์ตัวแปรตามด้วยค่าความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ ซึ่งเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) การหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจะทำให้ได้หลังจากที่ได้สร้างหรือกำหนดรูปแบบของความสัมพันธ์ (Model) (ศิริชัย, 2548) ซึ่งในการออกแบบแบบ Response Surface Methodology นั้นมีรูปแบบของแบบจำลองอยู่ 4 แบบจำลองคือ Linear model, Linear + interaction model, Linear + square model และ Full quadratic model

1.1 วิธีการพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลอง

เนื่องรูปแบบของแบบจำลองสำหรับการออกแบบแบบ Response Surface Methodology ซึ่งใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีอยู่ 4 รูปแบบ ดังนั้นการที่จะนำรูปแบบใดมาใช้อธิบายความสัมพันธ์ ควรจะต้องมีหลักการในการเลือกตัวแบบจำลองที่มีความเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error: SE) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) ซึ่งมีหลักการดังนี้

1.1.1 พิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error: SE)

ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีค่าน้อย แสดงว่าตัวแบบจำลองที่นำมาใช้มีความเหมาะสมค่อนข้างมาก แต่ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีค่ามาก แสดงว่าตัวแบบจำลองที่นำมาใช้มีความเหมาะสมน้อยมาก และถ้าในกรณีที่ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีค่าต่ำสุด แสดงว่าตัวแบบจำลองมีความเหมาะสมดีมาก

1.1.2 พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2)

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 ตัวแบบจำลองที่ดีควรจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงๆ นั่นคือใกล้เคียง 1 หรือ เท่ากับ 1 ซึ่งแสดงว่าตัวแปรอิสระที่อยู่ในตัวแบบจำลองสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ดี

1.2 วิธีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_i)

เป็นการตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัว ที่นำมาใช้ในตัวแบบจำลองสามารถนำมาใช้พยากรณ์ตัวแปรตามได้หรือไม่ โดยการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_i) มีการทดสอบ 2 ลักษณะดังนี้

1.2.1 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_i) ของตัวแปรอิสระทุกตัวพร้อมๆ กัน โดยกำหนดสมมติฐานทางสถิติดังนี้

$H_0 : \beta_i = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ หรือตัวแปรอิสระทุกตัวไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม

$H_1 : \beta_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม

ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบคือ F- test หรือ สามารถดูจากค่า p value ได้ โดยผู้ทดสอบจะต้องกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) มาก่อน ถ้า p value มีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญ (α) จะตัดสินใจยอมรับสมมติฐาน H_0 นั่นคือตัวแปรอิสระทุกตัวในแบบจำลองไม่สามารถใช้พยากรณ์ตัวแปรตามได้ แต่ถ้า p value มีค่าต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ (α) จะตัดสินใจปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (หรือยอมรับสมมติฐาน H_1) นั่นคือตัวแปรอิสระในแบบจำลองอย่างน้อย 1 ตัว สามารถใช้พยากรณ์ตัวแปรตามได้

1.2.2 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β_i) ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวโดยกำหนดสมมติฐานดังนี้

$H_0 : \beta_i = 0$ หรือตัวแปรอิสระที่ i ไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม

$H_1 : \beta_i \neq 0$ หรือตัวแปรอิสระที่ i มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม

ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบคือ t - test หรือสามารถพิจารณาค่า p value ก็ได้ โดยผู้ทดสอบกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) ถ้า p value ของตัวแปรที่ i มีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญ ดังนั้นตัดสินใจยอมรับสมมติฐาน H_0 แสดงว่าตัวแปรอิสระที่ i ไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม แต่ถ้า p value ของตัวแปรที่ i มีค่าต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ ดังนั้นตัดสินใจปฏิเสธสมมติฐาน H_0 นั้นแสดงว่าตัวแปรอิสระที่ i มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม

2. การวิเคราะห์ความไม่สมรูปของแบบจำลอง (Test for Lack of Fit)

สำหรับการออกแบบการทดลองแบบ Response Surface Methodology การวิเคราะห์ความไม่สมรูปของแบบจำลองนั้น ถือเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้สำหรับทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองเนื่องจากการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาได้จากผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนจากส่วนตกค้าง (Sum of Square of the Residual Error: SS_E) ในการตัดสินใจความถูกต้องของแบบจำลองจะพิจารณาค่า F ซึ่งเป็นตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแปรปรวน นั่นคือ ถ้าค่า F ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า F ที่เปิดจากตารางสถิติ แสดงว่า ฟังก์ชันถดถอยไม่มีความสัมพันธ์เป็นแบบเดียวกับแบบจำลองที่ใช้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Meher *et al.* (2005) ได้นำเอาน้ำมันจาก Karanja Oil (เป็นน้ำมันที่สกัดมาจากพืชที่มีชื่อว่า *Pongamia pinnata* ไม่สามารถนำมาบริโภคได้) มาผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอส เทอริฟิเคชันโดยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล ดังนั้นจึงเลือกปัจจัยที่จะศึกษาคือ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา และอัตราเร็วของการกวนผสม แล้วนำไปโอดีเซลที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยวิธี High performance liquid chromatography จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ทำปฏิกิริยาภายใต้ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และใช้อัตราเร็วของการกวนผสม 360 รอบต่อนาที คือสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจาก Karanja Oil โดยภายใต้สภาวะดังกล่าวสามารถให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 15 นาที

Kandpal and Madan (1995) ทำการสกัดน้ำมันสนุดำ (*Jatropha curcus* oil) โดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ แล้วนำน้ำมันสนุดำที่สกัดได้ไปตรวจวัดปริมาณกรดไขมัน (Fatty Acid) แล้วเปรียบเทียบคุณสมบัติกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม พร้อมทั้งนำน้ำมันสนุดำไปทดสอบใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ จากการศึกษาพบว่า สามารถสกัดน้ำมันสนุดำได้ปริมาณน้ำมันสนุดำ 37.4 เปอร์เซ็นต์จากการใช้ส่วนของเมล็ดสนุดำทั้งหมด (รวมเปลือกด้วย) และ 46.0 – 48.6 เปอร์เซ็นต์จากการใช้เฉพาะส่วนของเนื้อเมล็ดสนุดำ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันสนุดำพบว่า มีปริมาณ กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) 20.1 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) 79.9 เปอร์เซ็นต์ โดยมีกรดไขมันโอเลอิก (Oleic Acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากที่สุดคือ 44.8 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดไขมันสเตียริก (Stearic Acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวน้อยที่สุดคือ 7.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างน้ำมันสนุดำกับน้ำมันดีเซลพบว่า น้ำมันสนุดำมีค่า Calorific value ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่มีปริมาณซัลเฟอร์น้อยกว่าในน้ำมันดีเซล และเมื่อนำเอาน้ำมันสนุดำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะพบว่า ก๊าซที่ถูกปล่อยออกมาไม่พบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แต่เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงกลับพบว่ามีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ถูกปล่อยออกมาในปริมาณ 125 พีพีเอ็ม ส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ปล่อยออกมามีปริมาณไม่แตกต่างกัน

Foidl *et al.* (1996) เนื่องจากในนิการากัวสนใจศึกษาแหล่งพลังงานทดแทนจากน้ำมันสบู่ดำ ดังนั้นในงานศึกษาหัวข้อนี้จึงกล่าวถึง การเพาะปลูกสบู่ดำ ส่วนประกอบของเมล็ดสบู่ดำ และน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ ตลอดจนการนำน้ำมันสบู่ดำมาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เมทานอลและ เอทานอลได้เป็น แอลคิลเอสเทอร์ (หรือไบโอดีเซล) 2 ชนิดคือ เมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ตามลำดับ โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่า เมล็ดสบู่ดำมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบประมาณ 57.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนคุณสมบัติของน้ำมันสบู่ดำพบว่า มีความหนืด 37.0 เซนติสโตกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และในการผลิตไบโอดีเซลพบว่า เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นสามารถแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตลอดจนของเหลือจากการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้โพแทสเซียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยายังสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยได้อีกด้วย

Ramadhas *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน Rubber Seed Oil ซึ่งเป็นน้ำมันที่ไม่สามารถนำมาใช้บริโภคได้ เนื่องจาก Rubber Seed Oil มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงถึง 17 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ยากสำหรับการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Alkaline Catalyst) เนื่องจากวัตถุประสงค์ปริมาณกรดไขมันอิสระเป็นส่วนประกอบในปริมาณมาก ในการทำปฏิกิริยากรดไขมันอิสระจะไวต่อการทำปฏิกิริยากับเบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสบู่ (Soap) สบู่ที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลต่อการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์ (Ester) กับ กลีเซอริน (Glycerin) ให้แยกออกจากกันยากขึ้น เพราะฉะนั้นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบ 2 ขั้นตอน จึงถูกนำมาใช้ในงานศึกษานี้ โดยมีปัจจัยหลักที่ศึกษาได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ทั้งในขั้นที่ 1 และ 2 อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา และ เวลาของการทำปฏิกิริยา และ เวลาในการทำปฏิกิริยากำหนดให้แต่ละขั้นตอนใช้เวลา 30 นาทีเช่นกัน เริ่มต้นในขั้นตอนที่ 1 เติมตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid Catalyst) ลงในน้ำมันเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้ไปเป็นโมโนเอสเทอร์ (Mono - Ester) เพื่อให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันลดลงให้น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ โดยในการทดลองใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ Maximum Conversion Efficiency พร้อมทั้งสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันให้น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ คือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ปริมาณกรดซัลฟิวริก 0.5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 40 – 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 20 – 30 นาที ส่วนขั้นตอนที่ 2 เป็นปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน คือเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปผลิตกันท์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ผลที่ได้คือ โมโนเอสเทอร์ และ กลีเซอรอล จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้ได้ Maximum Conversion Efficiency

สำหรับขั้นที่ 2 คือ ต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 9:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 40 – 50 องศาเซลเซียส และ ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที นอกจากนั้นยังวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จาก น้ำมัน Rubber seed พบว่ามี ความถ่วงจำเพาะ 0.874 จุดวาบไฟ (Flash Point) 130 องศาเซลเซียส จุดหมอกควัน (Cloud Point) 4 องศาเซลเซียส ความหนืด (Viscosity) ที่ 40 องศาเซลเซียส มีค่า 5.81 มิลลิเมตร²ต่อวินาที ค่า Calorific Value 36.50 เมกะจูลต่อกิโลกรัม จุดไหลเท (Pour Point) -8 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด (Acid Value) 0.1188 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของน้ำมัน ซึ่งคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงดังกล่าวของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมัน Rubber seed เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM 6751 พบว่า มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน เพราะฉะนั้นไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมัน Rubber seed จึงสามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลได้

Ghadge and Raheman (2005) เป็นการพัฒนาวิธีผลิตไบโอดีเซลจาก Mahua Oil (*Madhuca Indica*) ซึ่งน้ำมันชนิดนี้มีกรดไขมันอิสระเป็นส่วนประกอบในปริมาณที่สูงถึง 19 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้วิธีการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน Mahua Oil ลดลงไปที่เหลือน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ โดยขั้นตอนที่ 1 เป็นการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) ระหว่างน้ำมันกับเมทานอลเพื่อลดกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันให้มีปริมาณลดลง โดยใช้สัดส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 0.15 0.20 0.25 0.30 0.35 และ 0.40 และใช้กรดซัลฟิวริก 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ภายใต้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน Mahua Oil ลดลง คือ ใช้สัดส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 0.35 ส่วนในขั้นตอนที่ 2 นำของผสมชั้นล่างที่ได้จากขั้นที่ 1 มาผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านกระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งในส่วนนี้ใช้เมทานอลในสัดส่วน 0.25 โดยปริมาตร และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาชั่วโมงครึ่ง ภายใต้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากการทดลองในขั้นตอนที่ 2 พบว่า สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นไบโอดีเซลที่ผลิตได้ยังถูกนำมาทดสอบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงด้วย พบว่ามี ความหนาแน่นที่ 15 องศาเซลเซียสเป็น 880 กิโลกรัมต่อเมตร³ ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียสเป็น 3.98 มิลลิเมตร²ต่อวินาที จุดวาบไฟ 208 องศาเซลเซียส จุดไหลเท -20 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำ 0.04 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณจีเถ้า 0.01 เปอร์เซ็นต์ Carbon residue 0.20 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรด 0.41 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของน้ำมัน และค่า Calorific value 37 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเมื่อนำมา

เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลของทั้ง ASTM D 6751 – 02 และ DIN EN 14214 แล้วพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้จาก Mahua Oil มีคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงอยู่ในขอบเขตของมาตรฐาน ASTM D 6751 – 02 และ DIN EN 14214

Tomasevic and Siler – Marinkovic (2003) ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันดอกทานตะวันที่ทำกรไล่น้ำออกแล้ว (Refined Sunflower Oil) และ น้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารแล้ว ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณของไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ ดังนั้นในการทดลองจึงกำหนดปัจจัยที่จะศึกษาดังนี้ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันใช้เป็น 4.5:1 6:1 และ 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์) ใช้ 0.4 – 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน และ เวลาและอุณหภูมิที่ใช้คือ 30 นาที และ 25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ให้ปริมาณเอสเทอร์มากที่สุด ส่วนชนิดและตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าถ้าใช้ 1 เปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะให้ปริมาณเอสเทอร์และคุณภาพของไบโอดีเซลดีที่สุด

Antolin *et al.* (2002) ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (Sunflower Oil) โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันและเทคนิค Taguchi's methodology ได้ถูกนำไปใช้เพื่อหาตัวแปรที่สำคัญซึ่งมีผลกระทบต่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อที่จะให้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสูงเป็นไปตามกฎเกณฑ์ของยุโรป ทั้งนี้ต้องให้ได้ผลิตภัณฑ์มากที่สุดด้วย หลังจากนั้นนำไบโอดีเซลที่ผลิตได้มาทดสอบคุณสมบัติต่างๆเช่น ความหนืด จุดวาบไฟ ค่าความเป็นกรด เป็นต้น โดยในการทดลองจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสนั้นคือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ทำ 20 การทดลอง ซึ่งปัจจัยที่มีศึกษา คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาใช้ 0.28 และ 0.55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณเมทานอลใช้เป็น 2 เท่าและ 3 เท่าของสัดส่วนจริงที่ต้องใช้ในปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาใช้ 60 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส ขั้นตอนการล้าง : ไม่มีการล้าง และมีการล้างแบบ 2 ขั้นตอน (โดยขั้นแรกล้างด้วยน้ำผสมกรด 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของฟอสฟอริก แอซิด ขั้นที่สองล้างด้วยน้ำ) ส่วนในการวิเคราะห์องค์ประกอบสารในไบโอดีเซลใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) จากการทดลองพบว่า ควรใช้ปริมาณเมทานอลเป็น 3 เท่าของสัดส่วนที่ต้องใช้ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.28 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และต้องผ่านกระบวนการล้างแบบสองขั้นตอน และเมื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซลพบว่า มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่ยุโรปกำหนด

Chitra *et al.* (2005) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสนู้ด้าด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Chitra *et al.* (2005) ได้ใช้น้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันสนู้ด้า (Molecular Weight) เป็น 900 กรัมต่อโมเลกุล ทั้งนี้ปัจจัยที่จะศึกษาคือ ปริมาณเมทานอลที่ใช้ (10 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.5 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์) เวลาของการทำปฏิกิริยา (30 60 90 และ 120 นาที) และ อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา (30 45 และ 60 องศาเซลเซียส) เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตไบโอดีเซลให้ได้ปริมาณมากที่สุด ไบโอดีเซลที่ได้จะถูกนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทั้งทางเคมี (ปริมาณกรดไขมันอิสระ และ ค่าความเป็นกรด) และ ทางด้านเชื้อเพลิง จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ไบโอดีเซล 98 เปอร์เซ็นต์ คือ ใช้เมทานอล 20 เปอร์เซ็นต์ 1 เปอร์เซ็นต์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 90 นาที และจากการทดสอบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง พบว่า Kinematic Viscosity (ที่ 40 องศาเซลเซียส) มีค่า 4.78 เซนติสโตรก Specific Gravity มีค่า 0.8636 มีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ 0.249 เปอร์เซ็นต์ และค่าความเป็นกรด 0.496 มิลลิกรัม โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน ซึ่งค่าดังกล่าวข้างต้นอยู่ในขอบเขตของมาตรฐาน BIS (Bureau of Indian Standards)

Al – Widyan and Al – Shyoukh (2002) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันภายใต้สภาวะต่างๆกัน โดยใช้กรดซัลฟิวริก และ กรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนแอลกอฮอล์ที่ใช้คือ เอทานอล พบว่า ยังใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณมากเท่าไรก็จะทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วยภายในระยะเวลาอันสั้น และไบโอดีเซลที่ได้มีค่า Specific Gravity ที่ต่ำลงด้วย จากผลการทดลองพบว่า ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากการใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีค่า Specific Gravity ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น 2.25 โมลาร์เหมือนกัน นอกจากนั้นยังพบว่าที่ 100 เปอร์เซ็นต์ Excess ของแอลกอฮอล์ให้ไบโอดีเซลที่มีค่า Specific Gravity ที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ Excess ของแอลกอฮอล์ เพราะฉะนั้นสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตไบโอดีเซลคือใช้ กรดซัลฟิวริก 2.25 โมลาร์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ Excess ของแอลกอฮอล์ ซึ่งจะช่วยลดค่า Specific Gravity ของน้ำมันจาก 0.916 ไปเป็น 0.8737 ไบโอดีเซลที่ได้ยังมีพฤติกรรมเป็นแบบ Newtonian Fluid ด้วย

Ghadge and Raheman (2006) ได้สนใจนำน้ำมัน Mahua Oil (*Madhuca indica*) มาผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากในประเทศอินเดียมีพืชน้ำมันที่ไม่สามารถมาเป็นอาหารได้ (Non – Edible Oil) อยู่หลายชนิดและน่าสนใจที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลซึ่งหนึ่งในนั้นคือ น้ำมัน Mahua Oil แต่เนื่องน้ำมันชนิดนี้มีปริมาณกรดไขมันอิสระ อยู่ในปริมาณสูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงมากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำเอาน้ำมันนั้นมาผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการ ทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน โดยโซบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้เกิดสบู่ขึ้น สบู่จะไปทำให้การแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลกับกลีเซอรอลเป็นไปได้อย่างยากขึ้น ดังนั้น Ghadge and Raheman (2006) จึงสนใจที่จะศึกษานำน้ำมัน Mahua Oil มาทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน (Esterification) กับเมทานอลโดยใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นตัวเร่งเพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน จากนั้นจึงนำเอาน้ำมันที่ผ่านกระบวนการเอสเตอร์ฟิเคชันไปผลิตไบโอดีเซลโดยใช้โซบสเป็นตัวเร่งต่อไป ในขั้นตอนเอสเตอร์ฟิเคชันนั้นเริ่มด้วยออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design (CCRD) มีทั้งหมด 23 การทดลอง ตัวแปร (Factor) ที่ศึกษามี 3 ตัวแปรได้แก่ สัดส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลมี 5 ระดับคือ 0.22 0.25 0.30 0.35 และ 0.38 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามี 5 ระดับคือ 0.66 1.00 1.50 2.00 และ 2.34 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเวลาทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันมี 5 ระดับคือ 0.16 0.50 1.00 1.50 และ 1.84 ชั่วโมง โดยทั้งนี้ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาคงที่ที่ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำน้ำมัน Mahua Oil มาทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันตามแผนการทดลองข้างต้น นำผลการทดลอง (ค่าความเป็นกรด: Acid Value) จากปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันมาวิเคราะห์ทางสถิติอันได้แก่ การวิเคราะห์เชิงถดถอย (Regression Analysis) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พร้อมทั้งวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว (Response Surface Methodology) โดยใช้รูปแบบ (Model) กำลังสอง (Quadratic Polynomial Equation) มาวิเคราะห์ข้อมูล ผลการวิเคราะห์ได้รูปแบบของสมการกำลังสองดังนี้

$$AV = 89.773 - 434.400M - 1.103C - 28.304T + 703.340M^2 + 5.177C^2 + 6.474T^2 - 44.500MC + 2.020CT + 29.400MT$$

โดยที่ AV = ค่าความเป็นกรด (acid value)

M = ปริมาณเมทานอล

C = ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

T = เวลาทำปฏิกิริยา

จากการวิเคราะห์เชิงถดถอยพบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) เท่ากับ 0.842 ดังนั้นรูปแบบที่ได้จึงมีความเหมาะสมสำหรับการใช้ทำนายค่าความเป็นกรด นอกจากนั้นผลการทดลอง (ค่าความเป็นกรด) ยังถูกนำไปพลอตกราฟเชิงพื้นที่พบว่าสถานะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อลดค่าความเป็นกรดของน้ำมัน Mahua Oil คือ ใช้สัดส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 0.32 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1.24 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1.26 ชั่วโมง ขั้นตอนสุดท้ายคือนำน้ำมัน Mahua Oil ที่ผ่านกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันภายใต้สถานะที่เหมาะสมซึ่งมีค่าความเป็นกรดลดลงเหลือ 1.64 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ เมทานอลในสัดส่วน 0.25 โดยปริมาตร ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ใช้อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่าผลได้ได้ผลิตภัณฑ์มากถึง 98 เปอร์เซ็นต์ สุดท้ายไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้นถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงพบว่ามีความสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 6751-02 และ DIN EN 14214

Leung *et al.* (2006) ทำการศึกษาการเสื่อมสลายของไบโอดีเซลที่ถูกเก็บไว้ในภายใต้สถานะต่างๆ น้ำมันไบโอดีเซลที่นำมาทดสอบนั้นถูกผลิตมาจากน้ำมัน Rapeseed Oil ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนค่าที่ใช้ในการทดสอบชี้วัดคุณภาพของไบโอดีเซลคือ ความบริสุทธิ์ (Purity Test) และ ค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซล ก่อนเข้าสู่กระบวนการศึกษาการเสื่อมสลายตัว Leung *et al.* (2005) ได้นำตัวอย่างไบโอดีเซลที่จะศึกษาไปทดสอบหาความบริสุทธิ์โดยการวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เป็นส่วนประกอบในไบโอดีเซลเริ่มต้น จากการวิเคราะห์พบว่าตัวอย่างไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมัน Rapeseed Oil มีเมทิลเอสเทอร์เป็นส่วนประกอบทั้งหมด 99.7 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ประกอบด้วยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูงได้แก่ เมทิลโอเลอเทต (Methyl oleate; C18:1) 61.6 เปอร์เซ็นต์ และเมทิลลิโนเลอเทต (Methyl linoleate; C18:2) 20.6 เปอร์เซ็นต์ ในขั้นตอนการศึกษาการเสื่อมสลายตัวของไบโอดีเซล เริ่มด้วยนำไบโอดีเซลปริมาตร 5 ลิตร แบ่งไบโอดีเซลแต่ละตัวอย่างใส่ลงใน Flask ตัวอย่างละ 400 มิลลิลิตร แล้วห่อหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ได้ทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ใน 12 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 3 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกถูกเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส กลุ่มที่ 2 เก็บไว้ในที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และกลุ่มสุดท้ายเก็บไว้ในที่ Hot – Water Bath ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยไบโอดีเซล 4 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ 1 (Type A) ถูกปิดด้วยจุกแก้วเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ไบโอดีเซลสัมผัสกับอากาศ ตัวอย่างที่ 2 (Type B) ถูกเปิดไว้ให้สัมผัสกับอากาศ ตัวอย่างที่ 3 (Type C) ถูกนำลงไป 5 เปอร์เซ็นต์แล้วปิดด้วยจุกแก้ว และสุดท้ายตัวอย่างที่ 4

(Type D) เติมน้ำ 5 เปอร์เซ็นต์ และถูกเปิดไว้ให้สัมผัสกับอากาศ ผลการทดลองภายในระยะเวลา 52 สัปดาห์พบว่า ไบโอดีเซลที่เก็บไว้ภายใต้อุณหภูมิ 4 และ 20 องศาเซลเซียส มีการเสื่อมสลายไป 10 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ไบโอดีเซลซึ่งถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีการเสื่อมสลายไปถึง 40 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองพบว่า การเก็บไบโอดีเซลไว้ที่อุณหภูมิสูงพร้อมทั้งปล่อยให้สัมผัสกับอากาศเป็นสาเหตุทำให้ไบโอดีเซลเกิดการสลายตัวเร็วขึ้น ส่วนน้ำก็เป็นปัจจัยที่ทำให้ไบโอดีเซลเกิดการสลายตัวได้เช่นกัน เนื่องจากน้ำนั้นเป็นสาเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ขึ้นในระบบ แต่หากจะเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ, อากาศ และ น้ำพบว่า น้ำมีผลกระทบต่อการเสื่อมสลายของไบโอดีเซลน้อยกว่า